

Budownictwo energooszczędne i pasywne.

**Projektowanie termiczne przegród zewnętrznych z warstwami
niejednorodnymi cieplnie.**

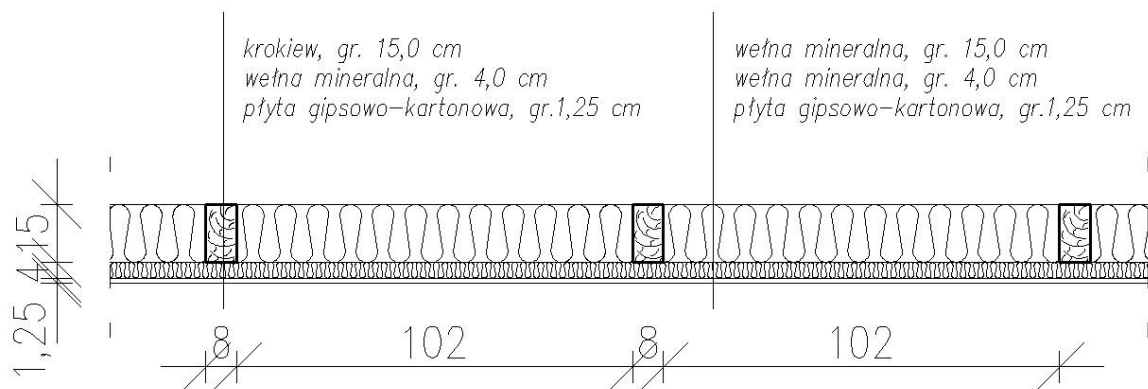
2018 r.

1. Określenie wymagań izolacyjności cieplnej przegrody

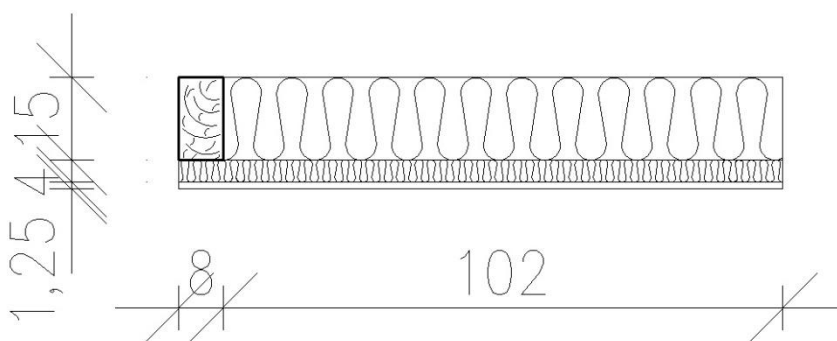
Maksymalna wartość współczynnika przenikania ciepła na podstawie RMI z dnia 1.02.2016 r.w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie dla dachu przy temp. w pomieszczeniach wewnętrznych przekraczających 16°C od 1 stycznia 2017 r. wynosi $U_{c(max)} = 0,18 \frac{W}{m^2 K}$.

2. Przygotowanie modelu obliczeniowego

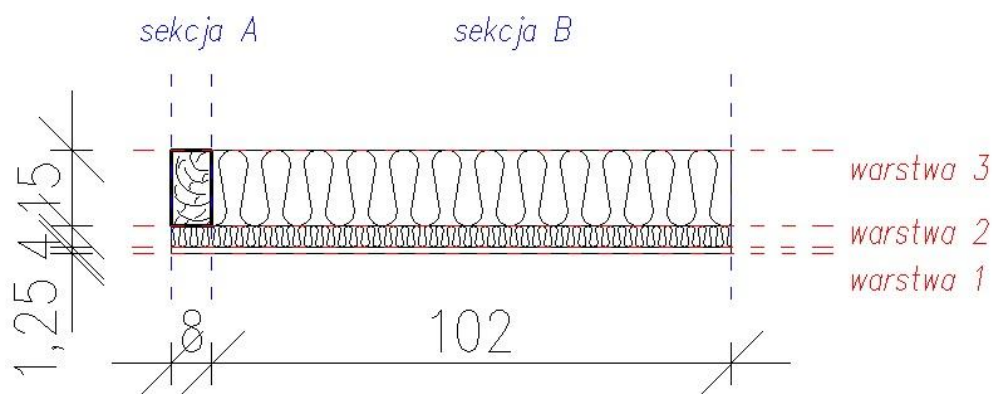
Zgodnie z normą 6946 (pkt.6.2.5) uznanie przestrzeni za dobrze wentylowaną pozwalana na pominięcie oporów cieplnych warstwy pustki powietrznej oraz warstw nad nią położonych i zastąpieniem ich oporem przyjmowania ciepła na powierzchni zewnętrznej. Przekrój przegrody:



Wydzielam komponent budowlany:



Określam warstwy i sekcje:



Zestawienie tabelaryczne właściwości cieplnych materiału (obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła):

L.p.	Materiał	$\lambda_i \left[\frac{W}{mK} \right]$	Uwagi
1.	płyta g-k (700 kg/m^3)	0,210	<i>tab. 3, 10456</i>
2.	wełna mineralna podkrokwiowa (ROCKWOOL, ROCKMIN PLUS)	0,037	<i>konwersjacja</i>
3.	wełna mineralna międzykrokwiowa (ROCKWOOL, TOPROCK SUPER)	0,035	<i>konwersjacja</i>
4.	drewno (500 kg/m^3)	0,130	<i>tab. 3, 10456</i>

Dla wełny mineralnej międzykrokwiowej (ROCKWOOL, TOPROCK SUPER) obliczam obliczeniowy współczynnik przewodzenia ciepła- konwersja z uwagi na wilgotność:

$$\lambda_i = \lambda_1 \cdot F_m, \text{ gdzie:}$$

F_m - konwersja zawartości wilgoci podanej jako stosunek objętości do objętości , obliczana ze wzoru (pkt.7.3 10456):

$$F_m = e^{f \Psi \cdot (\Psi_2 - \Psi_1)}$$

Wartość obliczeniowa współczynnika przewodzenia ciepła dla wełny mineralnej międzykrokwiowej:

$$\lambda = \lambda_D \cdot F_m = 0,035 \cdot e^{4 \cdot (0-0)} = 0,035 \cdot 1 = 0,035 \frac{W}{mK}$$

Wartość obliczeniowa współczynnika przewodzenia ciepła dla wełny mineralnej podkrokwiowej:

$$\lambda = \lambda_D \cdot F_m = 0,037 \cdot e^{4 \cdot (0-0)} = 0,037 \cdot 1 = 0,037 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

Na podstawie normy 6949, tab. 1 określam opory przejmowania ciepła na powierzchni. Dla kąta $\alpha < 60^\circ$ przyjmuje się pionowy kierunek strumienia ciepłego:

$$R_{si} = 0,10 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{se} = R_{se} = 0,10 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \text{ (przestrzeń dobrze wentylowana)}$$

3. Ustalenie wartości oporu cieplnego metodą kresów

3.1. Kres górny

- sekcja A



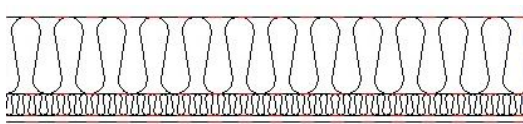
opór cieplny:

$$R_{Ta} = 0,10 + \frac{0,0125}{0,210} + \frac{0,04}{0,037} + \frac{0,15}{0,130} + 0,10 = 2,494 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

względne pole sekcji:

$$f_a = \frac{0,08 \cdot 0,2025}{1,1 \cdot 0,2025} = 0,073$$

- sekcja B



opór cieplny:

$$R_{Tb} = 0,10 + \frac{0,0125}{0,210} + \frac{0,04}{0,037} + \frac{0,15}{0,035} + 0,10 = 5,626 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

względne pole sekcji:

$$f_b = \frac{1,02 \cdot 0,2025}{1,1 \cdot 0,2025} = 0,927$$

$$f_a + f_b = 0,073 + 0,927 = 1,0$$

Kres górny całkowitego oporu cieplnego (6946, pkt.6.2.3):

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} = \frac{0,073}{2,494} + \frac{0,927}{5,626} = \frac{1}{0,194} = 5,155 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

3.2. Kres dolny

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego obliczamy ze wzoru (6946, pkt.6.2.4):

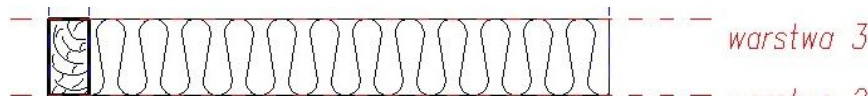
$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se}$$

R_1 - warstwa jednorodna,

R_2 - warstwa jednorodna,

R_3 - warstwa niejednorodna,

- warstwa 3 (niejednorodna)



$$\lambda_{a3} = 0,130 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$f_a = \frac{8}{110}$$

$$\lambda_{b3} = 0,035 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

$$f_b = \frac{102}{110}$$

Równoważny współczynnik przewodzenia ciepła:

$$\lambda''_3 = \lambda_{a3} \cdot f_a + \lambda_{b3} \cdot f_b = 0,130 \cdot \frac{8}{110} + 0,035 \cdot \frac{102}{110} = 0,042 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$$

Równoważny opór cieplny:

$$R_3 = \frac{0,15}{0,042} = 3,571 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Kres dolny całkowitego oporu cieplnego:

$$R_T'' = 0,10 + \frac{0,0125}{0,210} + \frac{0,04}{0,037} + 3,571 + 0,10 = 4,912 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Analiza stosowalności metody:

$$\frac{R_T'}{R_T''} = \frac{5,155}{4,912} = 1,049 < 1,5$$

4. Ustalenie wartości współczynnika przenikania ciepła U

Całkowity opór cieplny komponentu wynosi:

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} = \frac{5,155 + 4,912}{2} = 5,033 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Zgodnie z pkt. 6.2.5 normy 6946 oszacownie błędu wynosi:

$$e = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} = \frac{5,155 - 4,912}{2 \cdot 5,033} = 0,024 = 2,4\% < 5\%$$

Wniosek: Obliczenia dokładne.

Współczynnik przenikania ciepła wynosi:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{5,033} = 0,199 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

5. Ustalenie wartości współczynnika przenikania ciepła U_c i ocena izolacyjności cieplnej przegrody

Współczynnik przenikania ciepła U_c uzyskujemy przez uwzględnienie poprawek (zał.D 6946). Uwzględniono następujące poprawki:

5.1 Poprawkę z uwagi na pustki powietrzne ΔU_g , obliczoną ze wzoru:

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left(\frac{R_1}{R_{Th}}\right)^2, \text{ gdzie:}$$

$$\Delta U'' \text{ – poprawka z uwagi na pustki powietrzne } \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right],$$

$$R_1 \text{ – opór cieplny warstwy zawierającej szczeliny } \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right],$$

$$R_{Th} \text{ – całkowity opór cieplny komponentu z pominięciem mostków cieplnych } \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}\right].$$

Wełna mineralna układana jest w dwóch warstwach. Pierwsza warstwa jest ułożona między krokwiemi, druga jest warstwą ciągłą, bez jakichkolwiek przerw w tej warstwie. Przyjęto poziom 0 poprawki, dla której:

$$\Delta U'' = 0,00 \frac{W}{m^2K}$$

$\Delta U_g \rightarrow$ nie uwzględnia się

5.2. Poprawkę z uwagi na łączniki mechaniczne ΔU_f

$\Delta U_f \rightarrow$ nie uwzględnia się

5.3. Poprawkę w przypadku stropodachów odwróconych ΔU_r

$\Delta U_r \rightarrow$ nie dotyczy

Zgodnie z pkt.7 normy 6946 w przypadku gdy poprawka jest mniejsza niż 3% wartości współczynnika U, poprawki nie są wymagane.

$$U_c = U = 0,199 \frac{W}{m^2K} = 0,20 \frac{W}{m^2K}$$

5.4. Ocena izolacyjności cieplnej przegrody

$$U_c = 0,20 \frac{W}{m^2K} > U_{c(max)} = 0,18 \frac{W}{m^2K}$$

Wniosek: Wartość współczynnika przenikania ciepła **nie jest dopuszczalna** na podstawie RMI z dnia 1.02.2016 r.w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.

W budynku jednorodzinnym współczynnik przenika ciepła przy temp. w pomieszczeniach wewnętrznych przekraczających 16°C od 1 stycznia 2017 r. nie może przekraczać $U_{c(max)} = 0,18 \frac{W}{m^2K}$ dla dachu.

/-/Janusz Bąk

JB